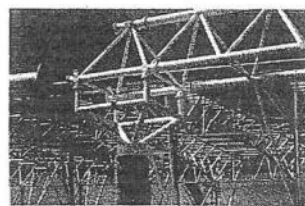


capítulo 6 del libro:

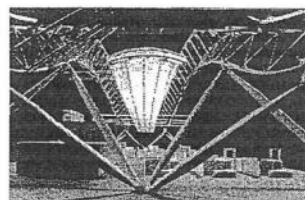
Temas de

ESTRUCTURAS ESPECIALES

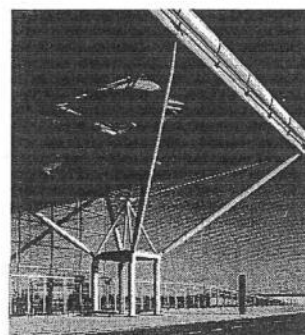
Arq. Pedro Perles - Editorial Klischowski



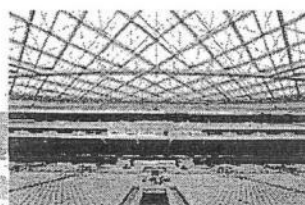
Aeropuerto de Ezeiza
Buenos Aires



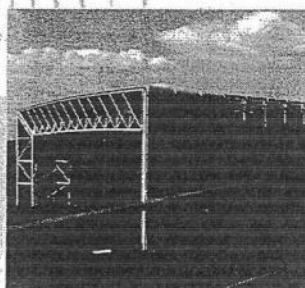
Aeropuerto Internacional
Kansai



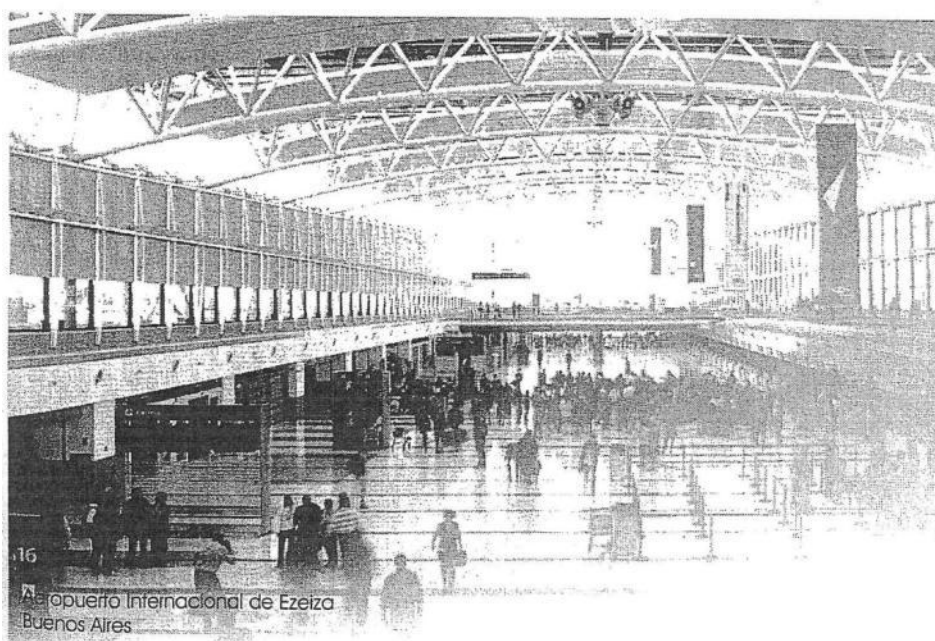
Aeropuerto de Stansted
Londres



Pabellón Olímpico
Sydney



Centro de Artes Visuales Sainsbury
Norwich



Aeropuerto Internacional de Ezeiza
Buenos Aires

RETICULADOS ESPACIALES

EVOLUCION DE LOS SISTEMAS RETICULADOS

La flexión de una viga por un esquema de fuerzas cualquiera, por ejemplo, una carga concentrada (Fig. 1 a y b) genera el clásico diagrama triangular, expresándonos con el, que las tensiones internas de compresión en la parte superior y tracción en la inferior, alcanzan su máximo valor en las fibras superiores e inferiores, para disminuir paulatinamente hasta anularse a nivel del eje neutro.

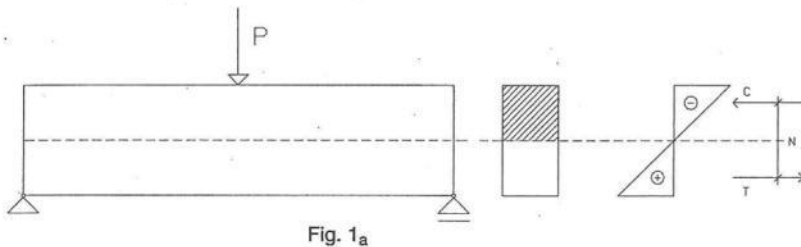


Fig. 1a

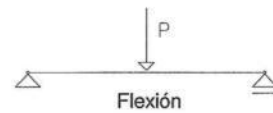


Fig. 1b

Esto nos indica que sólo se aprovecha la capacidad resistente de una parte muy reducida de la sección, y es la que corresponde a las fibras más alejadas del eje neutro, en detrimento del resto, que participa muy poco en la absorción de los esfuerzos.

El resultado es que la luz a cubrir por una viga de alma llena normal suele ser relativamente limitada.

Pero si agregamos 2 barras inclinadas, (Fig. 2) logramos que la carga P se descomponga en 2 direcciones que comprimen a esas barras, y estas, a su vez, al transferir la carga a los apoyos, traccionan a la barra horizontal.

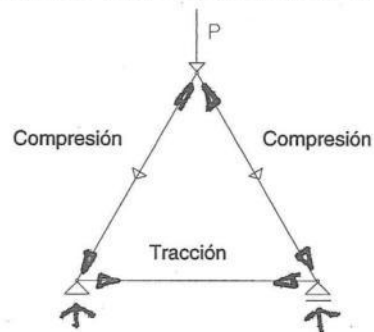


Fig. 2

¿Qué ha sucedido?

Que **hemos transformado la viga en un reticulado, reemplazando la flexión característica de las vigas por esfuerzos axiales de tracción o compresión**, y esta constituye la primera de las 2 cualidades distintivas que poseen los reticulados planos o espaciales, en razón de que en las piezas sometidas únicamente a tracción o compresión simple todas las fibras trabajan al máximo de su capacidad resistente, y en consecuencia se aprovechan en su totalidad, lo que permite reducir sensiblemente sus secciones, con la consiguiente economía de peso y costos.

Por supuesto que para ello será necesario considerar todos los nudos como articulados para evitar la flexión.

A partir de esta cercha elemental, agregando 2 barras por cada nudo podemos idear infinidad de reticulados, cuya base será siempre el triángulo, única figura indeformable. (Fig. 3)

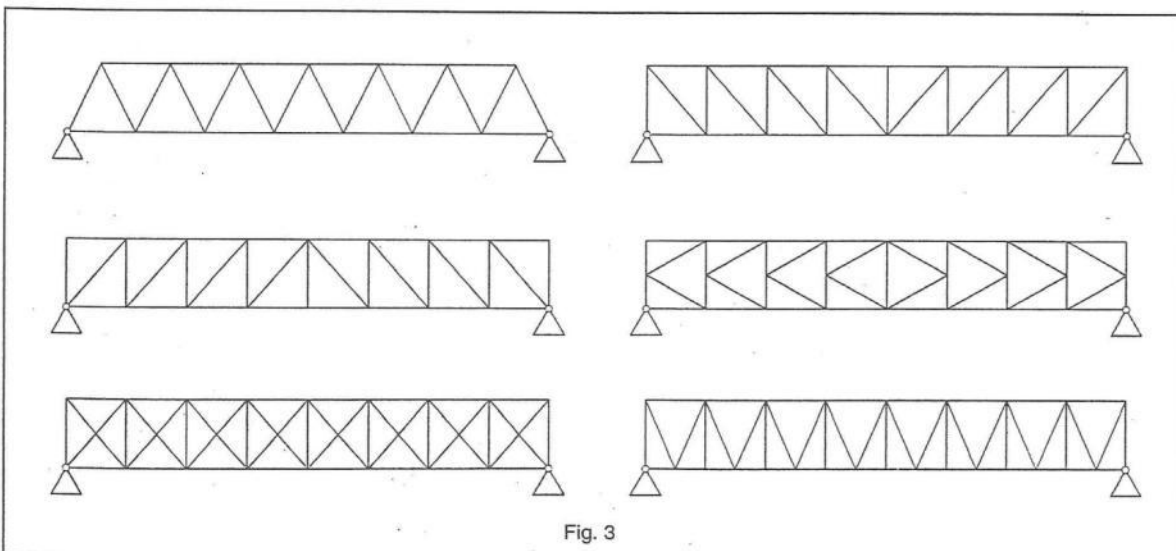


Fig. 3

¿Cuál es la segunda cualidad?

La que surge, a pesar de lo expuesto, de persistir en su análisis como viga, pues nos permitirá descubrir su cualidad más importante, y es la posibilidad cierta de incrementar considerablemente su altura para salvar grandes luces, con gran economía de material y peso; es como si vaciáramos una enorme viga, para dejar únicamente su esqueleto resistente constituido por delgadas barras traccionadas o comprimidas. (Fig.4)

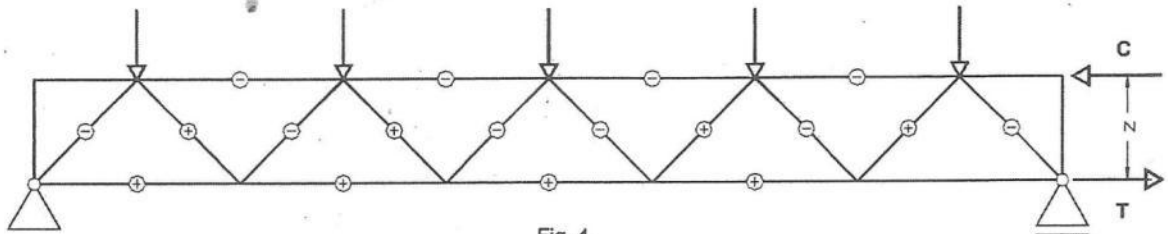
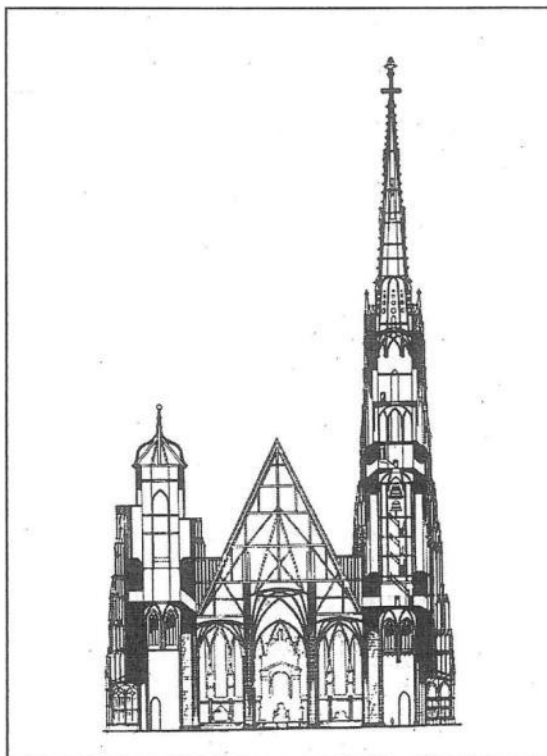


Fig. 4

Esto se traduce en un gran aumento del brazo mecánico en el par reactivo interno, con el consiguiente incremento de su capacidad resistente a flexión, donde las resultantes de compresión y de tracción se hallan ubicadas precisamente donde son más necesarias, en las fibras más alejadas del eje neutro, en coincidencia con los cordones superior e inferior respectivamente, es decir, se aprovechan en su totalidad, mientras las diagonales y montantes del alma absorben el cortante allí donde este es máximo, en el alma de la viga.

En consecuencia, se podría afirmar que los cordones superior e inferior transforman la flexión en esfuerzos simples de tracción y compresión, mientras las diagonales y montantes realizan otro tanto con el corte, al permitir su descomposición en las clásicas bielas comprimidas y traccionadas, lo que implica racionalizar al máximo el uso de cada pieza hasta lograr una verdadera optimización del sistema resistente, que se traduce en la posibilidad de cubrir grandes espacios con una sensible economía de material, peso y mano de obra.

Este análisis se hace extensivo a los sistemas aporticados, a los arcos y bóvedas, a una diversidad de estructuras planas y espaciales. Y nos permite, según la conformación del reticulado espacial, asimilar su comportamiento a una placa plana, a una viga, o bien a un arco bi o triarticulado, simplificando su resolución.



En verdad, la construcción de cabriadas planas se remonta a épocas antiquísimas, pues ya en el medioevo se ejecutaban entramados de madera para sostener las cubiertas inclinadas de las iglesias (Fig. 5) aunque aparentemente fue Palladio, en 1570, quien construyó el primer reticulado triangular para un puente.

Pero es en el siglo diecinueve cuando este tipo de estructura alcanza un notable desarrollo.

El diseño de cabriadas no sólo es aplicado entonces a los puentes, sino que se hace extensivo a cubiertas para estaciones de ferrocarril, salones de exposiciones, jardines de invierno, mercados, depósitos, donde los tradicionales y pesados entramados de madera son gradualmente reemplazados por cerchas de hierro, que le otorgan una gran liviandad y permiten su fabricación en serie.

Fig. 5: Corte transversal de la Catedral de Santo Estéfano en Viena. La cubierta de la nave principal está soportada por una estructura reticulada plana de madera.

Se consigue una articulación interesante entre el hierro y el cristal, siendo un claro ejemplo el **Palacio de Cristal de Paxton, en Londres**, año 1851, Fig. 6, donde el reticulado metálico alcanza jerarquía de estructura independiente.

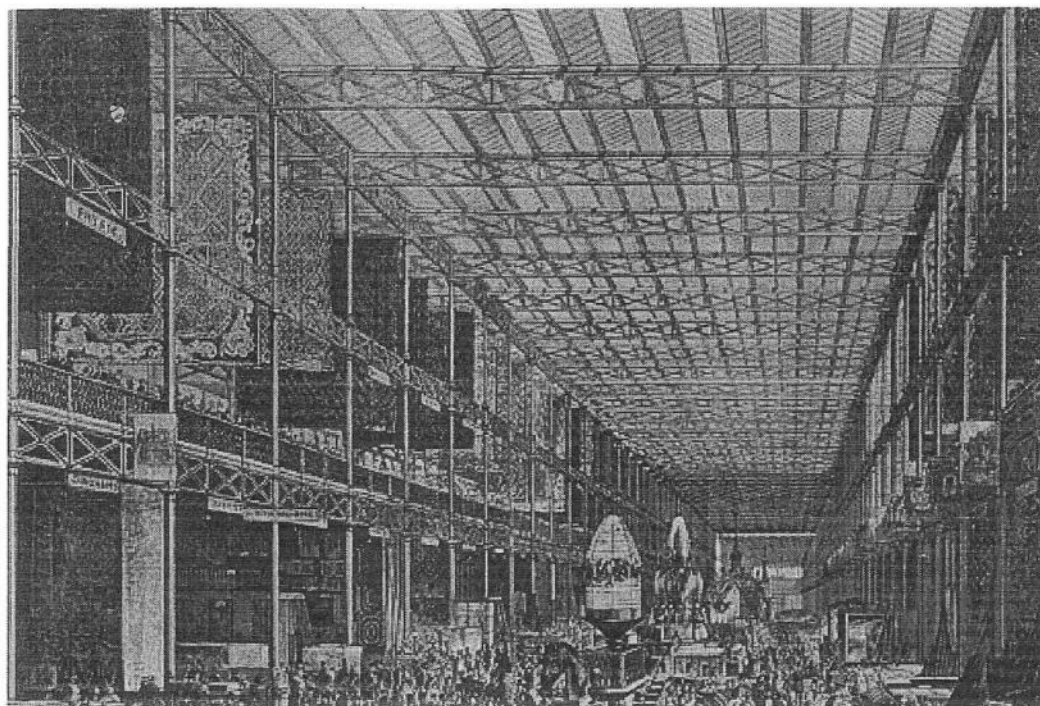


Fig. 6.
Cristal
Palace -
Londres

En el año 1863, en Berlín, J. W. Schwedler construye la primer cúpula reticulada de 40 m. de luz, y da nacimiento al sistema que se conoció con ese nombre. Sería la antesala de la cúpula geodésica. Fig.7.

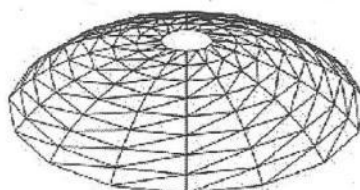


Fig. 7. Cúpula
de Schwedler

Pero es en la exposición de París del año 1889 donde se alcanza por primera vez, en el reticulado a 2 aguas de las **Galerías des Machines**, una luz de 114 m., Fig. 3_a y b.

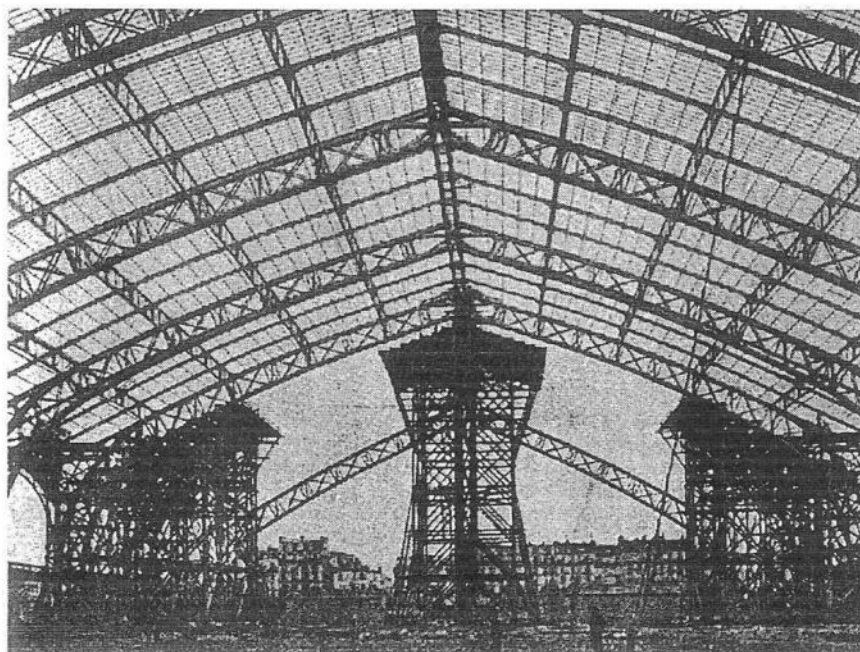
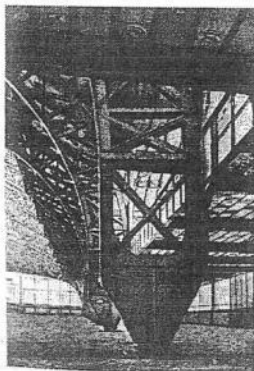


Fig. 3_a. Base de los arcos. Fig. 8_b. La estructura de la Galerie des Machines fue la primera en alcanzar una luz de esa magnitud.

La obra emblemática por excelencia, y por ello la más conocida, es la **Torre Eiffel, en París**, también del año 1889, Figs. 9_a, b y c cuyo cálculo se realizó sobre la base del tratado para reticulados espaciales publicado por Föppl en el año 1881.

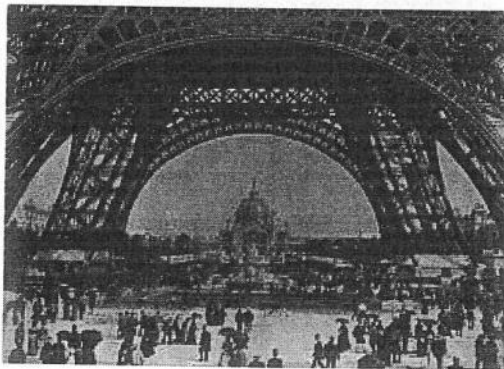


Fig. 9_a y b. La base de la torre con sus 4 inmensos pilares

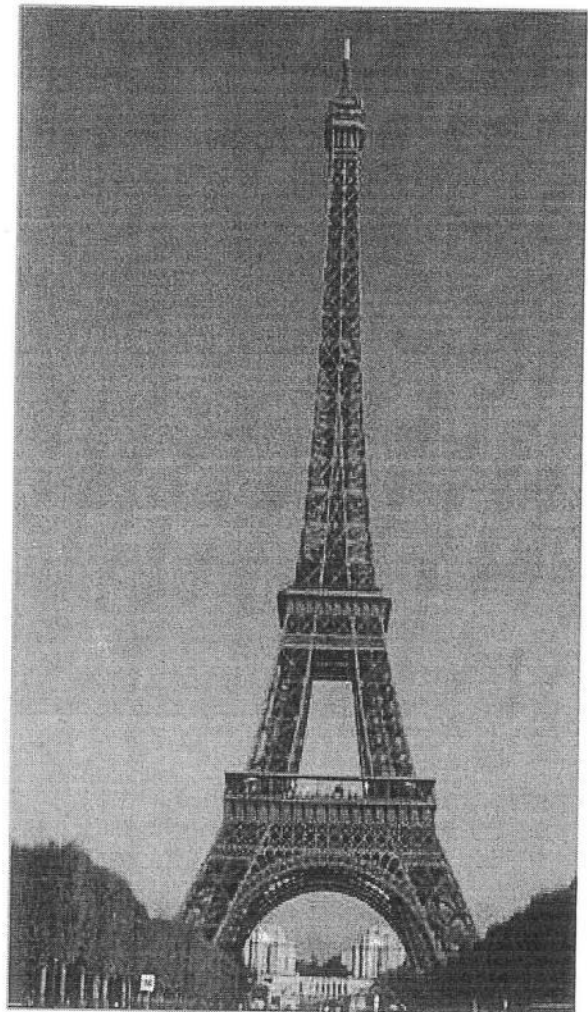


Fig. 9_c. Vista de la torre hoy.

Se completa esta nómina, por su importancia, con el **Puente ferroviario Forth**, cerca de Edimburgo, en el año 1890. Fig. 10_a y b

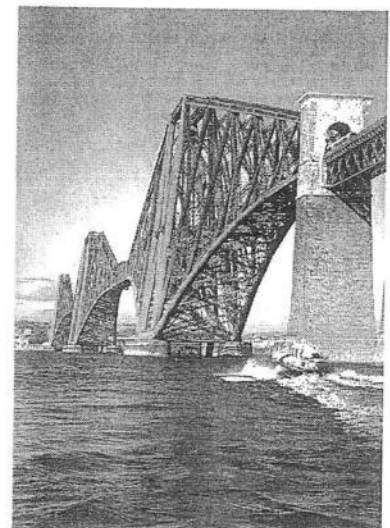
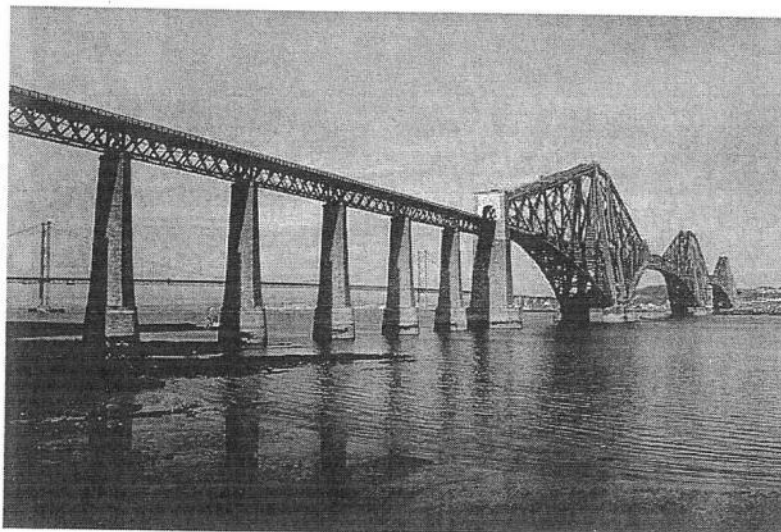


Fig. 10_a y b. Vistas del desarrollo de la estructura reticulada que conforma el puente destacándose en 3 tramos centrales.

En el comienzo de este siglo vale citar las investigaciones de Alexander Graham Bell, que realizó estudios sobre reticulados espaciales utilizando principalmente tetraedros, que es la unidad espacial estable fundamental, así como el triángulo lo es para las estructuras planas. También utilizó octaedros.

Pero la personalidad más destacada en este campo es, sin duda, Buckminster Fuller, de una versatilidad inagotable, ya que fue definido al mismo tiempo como ingeniero, científico, matemático, químico, inventor, filósofo, excéntrico, en definitiva, un **diseñador completo**, quien, aunque actuó en todos los campos, dedicó muchos años al estudio de la geometría de la esfera, a las aleaciones livianas y a la química de los plásticos.

Según Fuller, la naturaleza construye sus estructuras de manera que los esfuerzos internos actúan invariablemente en la dirección del mínimo esfuerzo, con lo cual se obtiene la máxima ventaja con la mínima imposición de energía.

Aplica esta concepción en el diseño de estructuras, partiendo del triángulo como la figura plana que posee la máxima rigidez con el menor esfuerzo, y deduce en consecuencia que los sistemas triangulados simétricos suministran el flujo más económico de energía.

Partiendo de esta premisa utiliza el triángulo para diseñar la **cúpula geodésica**, con la finalidad de obtener la máxima resistencia y rigidez con la mínima cantidad de material. Fig.11.

Su resistencia viene dada por el entramado triangular, y en tanto aumenta el número de triángulos, se incrementa la resistencia de la cúpula geodésica.

Se obtiene así una estructura que a pesar de su extrema liviandad posee, por su forma, una gran resistencia y rigidez, que por ello, no sufre deflexiones, a diferencia de las vigas.

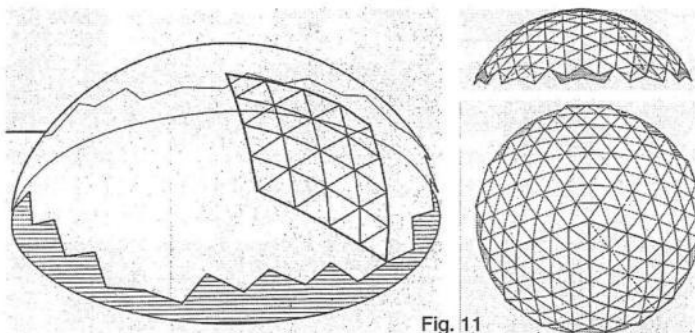


Fig. 11

Esto le permite salvar grandes luces, y en especial, utilizar materiales que por su bajo módulo de elasticidad poseen menor rigidez, como son el Aluminio, los Plásticos reforzados con fibra de vidrio, o el Policarbonato, ya que, vale reiterar este concepto, la rigidez le es conferida por una conformación geométrica que evita la flexión.

Una de las primeras firmas en adoptar la patente de Buckminster Fuller fue la Kaiser Aluminium, de Estados Unidos, y comenzó con la construcción de una sala de conciertos en Honolulu, cubierta con una cúpula geodésica de Aluminio, de 44m de diámetro. Fig.12 a, c y b.



Fig. 12 a y b. Vistas del interior de la cúpula de aluminio

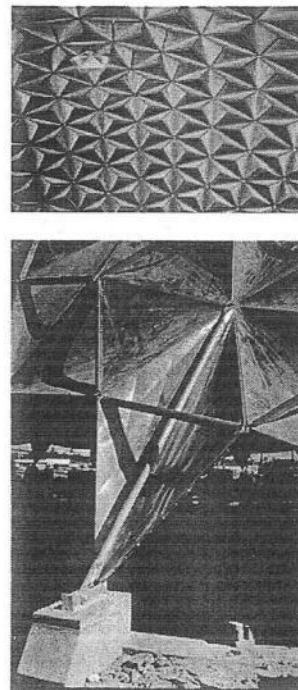


Fig. 12 c. Detalle de apoyo.

Desde 1955 Fuller construyó para las instalaciones de radar que proveía la Fuerza aérea americana cúpulas de 16.5m de diámetro realizadas con plásticos reforzados con fibra de vidrio, utilizándose este material en reemplazo del metal, en razón de que este reflejaba los rayos de los radares.

Una idea de la extrema liviandad que se obtiene con esta tipología resulta de la comparación entre la cúpula geodésica construida por la empresa de Fuller en el año 1958 para la Unión Tank Car Co, que a pesar de su gran diámetro de 116m y una altura central de 38.50m solo posee un peso total de 1.200 toneladas, mientras la histórica cúpula de San Pedro, de piedra y albañilería, con solo 39.30m de diámetro tiene un peso aproximado de **¡10.000 toneladas!** Fig.13 a, b, c y d.

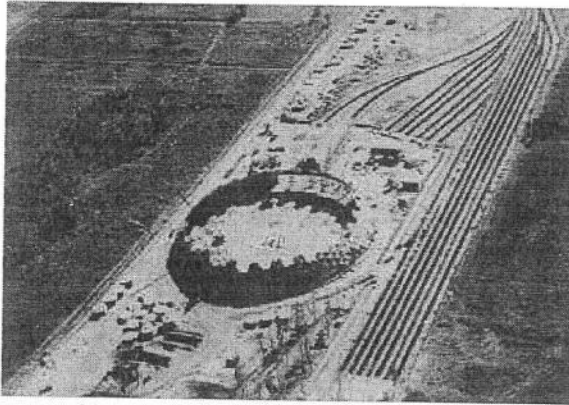


Fig. 13 a La cúpula durante su construcción.

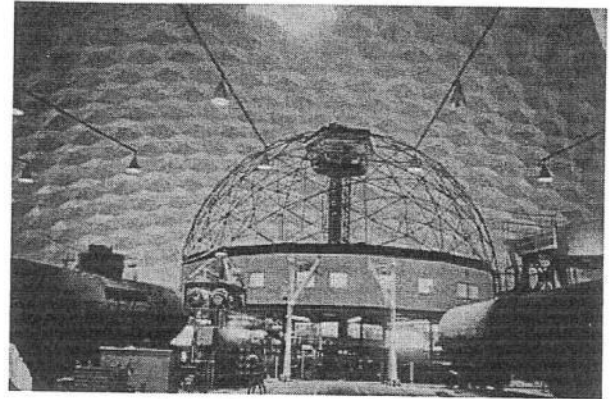


Fig. 13 b, Vista interior.

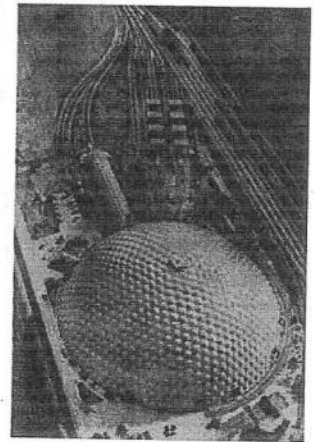
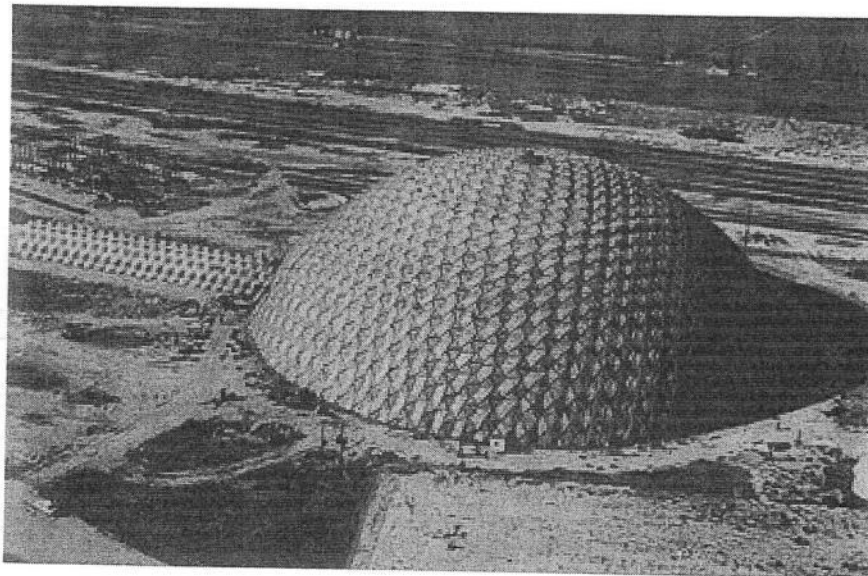


Fig. 13 c y d. Vistas de todo el complejo dominado por la imponente cúpula geodésica construida por Fuller en 1958.

¿Cuál es la génesis de los Reticulados espaciales?

Si el triángulo constituye la base de los reticulados planos, a partir del tetraedro como unidad estable fundamental en el espacio, se va generando una gran variedad morfológica de unidades espaciales que permiten conformar lo que se conoce finalmente como **Estéreo estructuras**. Fig.14 a, b, c, d y e.

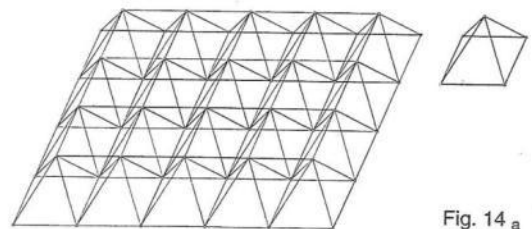


Fig. 14 a

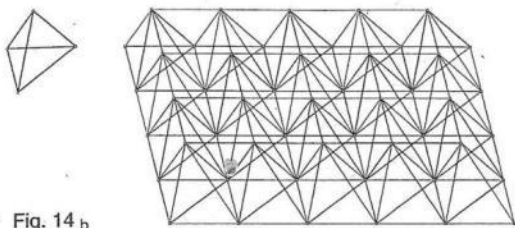


Fig. 14 b

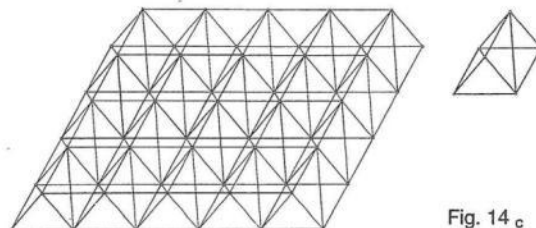


Fig. 14 c

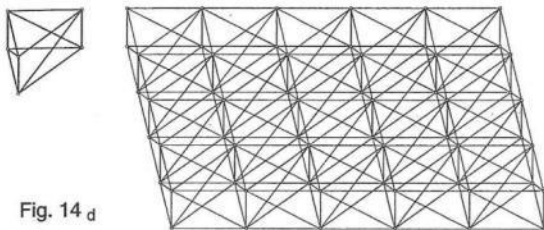


Fig. 14 d

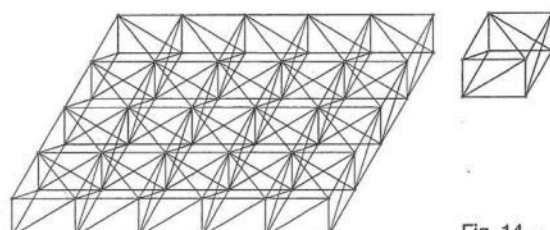


Fig. 14 e

¿Cuáles son los criterios de dimensionado?

Un análisis riguroso que nos determine con precisión los esfuerzos actuantes en cada una de la gran cantidad de barras que posee un reticulado espacial obligaría a utilizar un sinnúmero de ecuaciones dado el alto grado de hiperasticidad que habitualmente poseen, para lo cual sería imprescindible contar con sofisticados programas de computación.

Por ejemplo, la cúpula geodésica que Buckminster Fuller realizó para la Expo 67, en Montreal, Canadá, poseía ¡6000 nudos y 24.000 barras!, y por ende, su resolución representó un problema aún para el Software utilizado en esa época. Fig. 15 a, b y c.

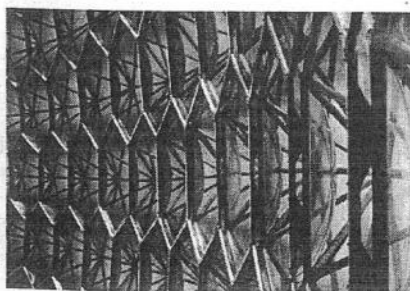
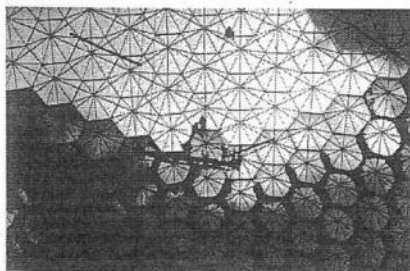


Fig. 15 a. Vista de la Cúpula geodésica durante la Expo de Montreal en 1967.

Fig. 15 b y c. Detalles del diseño del reticulado que conformaba la cúpula.

Por consiguiente, para un cálculo aproximado, es suficiente aplicar la analogía citada entre una viga o una losa plana con el clásico reticulado de Mörsch, lo que permite simplificar notablemente su resolución.

En función de esta premisa, podemos asimilar la estéreo estructura a una gran losa cruzada y calcular sus Momentos flexores en la forma habitual:

$$\begin{aligned} M_x &= \alpha \cdot q \cdot (l_{\text{menor}})^2 \\ M_y &= \beta \cdot q \cdot (l_{\text{menor}})^2 \end{aligned}$$

Dividiendo estos valores por el brazo mecánico z del par reactivo interno obtenemos los esfuerzos de compresión C en el cordón superior y de tracción T en el cordón inferior: Fig.16.

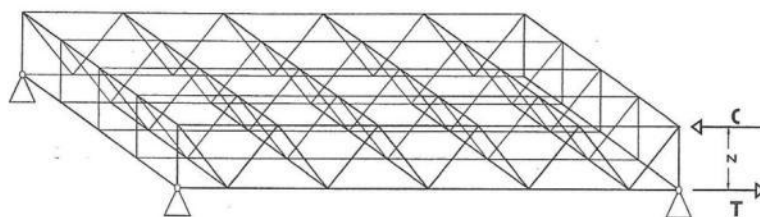


Fig. 16

$$C_x = T_x = \frac{M_x}{z}$$

y

$$C_y = T_y = \frac{M_y}{z}$$

Con estos valores verificamos la sección F de las BARRAS TRACCIONADAS del cordón inferior utilizando la clásica expresión:

$$\sigma = \frac{T}{F}$$

$\leq \sigma_{\text{adm}}$ o bien dimensionamos despejando

$$F = \frac{T}{\sigma}$$

¿Que sección geométrica resulta aconsejable utilizar en las barras?

En la mayoría de los casos se utiliza la sección circular hueca, pues con ella se logra el máximo aprovechamiento resistente, en razón de que con un área extremadamente reducida, y por ende con poco peso, se obtiene un gran Momento de Inercia y consecuente Radio de giro, optimizando su resistencia al Pandeo de forma racional y económica.

En el caso de las BARRAS COMPRIMIDAS EN EL CORDÓN SUPERIOR, habrá que verificar al pandeo siguiendo la secuencia habitual:

Coefficiente de esbeltez

$$\lambda = \frac{l_k}{i_{\text{mín}}}$$

Con este valor entramos a tabla y obtenemos el *coeficiente de pandeo* ω , que utilizamos para verificar la sección de las barras:

$$\sigma = \frac{C \omega}{F} \leq \sigma_{\text{admisible}}$$

Para resolver las **DIAGONALES COMPRIMIDAS** habrá que determinar previamente su ángulo de inclinación α , que se puede calcular analíticamente por trigonometría, y luego establecer la longitud, que se obtiene también por trigonometría como sigue: Fig. 17.

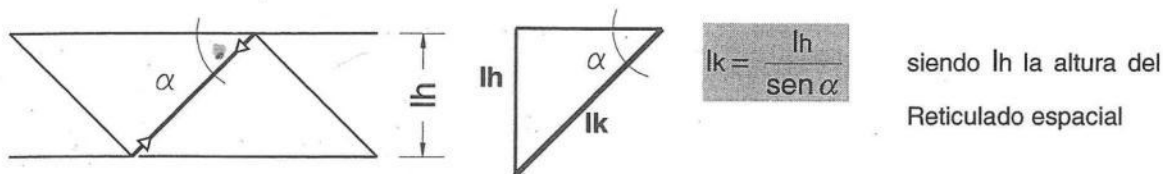


Fig. 17

¿Qué sentido tiene hallar la longitud, si todas las barras poseen las mismas dimensiones?

No siempre es conveniente utilizar las mismas dimensiones, pues esto suele condicionar la altura de la estereo estructura, aunque a veces ello se puede resolver, por ejemplo, reemplazando los tetraedros por octaedros, o bien, mediante la combinación de distintos poliedros.

En cambio, resulta aconsejable definir las dimensiones de las diagonales del alma en función de la altura proyectada para el reticulado espacial, aunque ello implique trabajar con longitudes diferentes a las barras de los cordones superior e inferior. Ello le proporciona una mayor flexibilidad al diseño.

Cabe señalar que en los reticulados de altura variable se hace imprescindible el uso de una gran diversidad de medidas.

¿Existe alguna altura aconsejable?

Para un estudio preliminar se podría estimar una relación entre el espesor total d y la luz a cubrir L , que oscila aproximadamente entre:

$$\frac{1}{15} \leq \frac{d}{L} \leq \frac{1}{25}$$

Como la magnitud de los esfuerzos en las diagonales del alma dependen del Corte, podemos hallar su valor C_d en la diagonal comprimida, descomponiendo el esfuerzo de corte máximo, que es igual a la reacción, en una horizontal y en la barra inclinada, Fig. 18.

$$C_d = \frac{RA}{\sin \alpha}$$

Calculamos el *Coefficiente de esbeltez* λ

$$\lambda = \frac{lk}{i_{\min}}$$

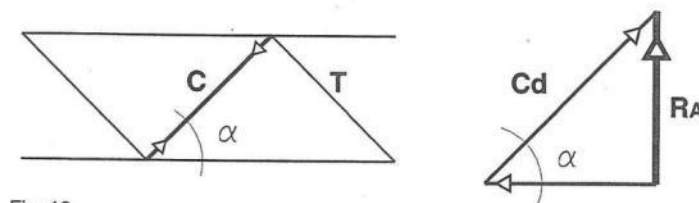


Fig. 18

Con este valor entramos a tabla y obtenemos el *coeficiente de pandeo* ω , para verificar finalmente la sección con la clásica expresión:

$$\sigma = \frac{C_d \omega}{F} \leq \sigma \text{ admisible}$$

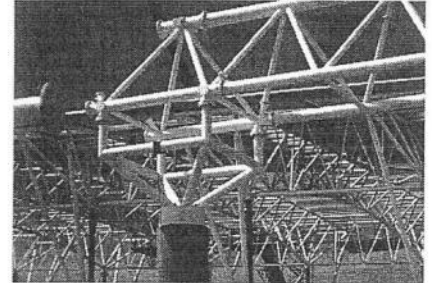
¿Qué procedimiento se adoptaría para los sistemas aporticados y abovedados?

Sería similar al utilizado para las placas planas, es decir, la flexión absorbida por los cordones superior e inferior y el corte absorbido por las diagonales y/o montantes del alma, se transformarían en la forma indicada en esfuerzos axiales de compresión o de tracción, con los cuales se verificarían las tensiones actuantes en las barras.

¿El apoyo en las columnas posee alguna característica especial?

Para evitar el efecto de punzonado y lograr una mejor distribución de solicitaciones se prefiere el encuentro en abanico, a manera de grandes capiteles de apoyo, como se indica en la Fig. 19.

Fig. 19. Encuentro de columna y reticulado.
Aeropuerto Internacional de Ezeiza.



¿Cómo se resuelven los encuentros en los nudos de las distintas barras?

Las uniones pueden realizarse por abulonado, soldadura, chavetas especiales u otras técnicas específicas, y en la mayor parte de los casos se resuelven mediante CONECTORES con los cuales se materializan los nudos, y a los que concurren naturalmente las barras, fijándose a estos con tornillos, o bien, encastres, cuyas características varían en función de las diversas patentes existentes.

¿Pueden citarse alguna de ellas?

La "Nodus and Space Deck" en Gran Bretaña, el sistema "Unibat", en Francia, el sistema "Octaplatte", en Alemania, mientras en los Estados Unidos podemos nombrar varios sistemas, como es el caso del "IBG System", en Illinois, el "Modu Span Span System", en Michigan, el "Power Strut System", en Ohio, el "Triodetic System", en Missouri, entre otros.

Resulta particularmente interesante el sistema "MERO", de origen alemán, adoptado en Estados Unidos por la Unistrut Corp, en Wayne, Michigan, pues posee una variedad de conectores que le otorgan una gran versatilidad formal: esféricos huecos, tubulares de planta cuadrada, tubulares de planta hexagonal u octogonal, conectores facetados. Fig. 20 a, b, c, d, e y f.

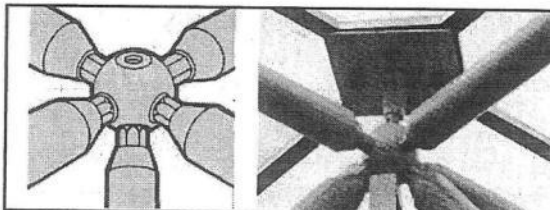


Fig. 20 a. KK-BALL NODE. Conectores esféricos.

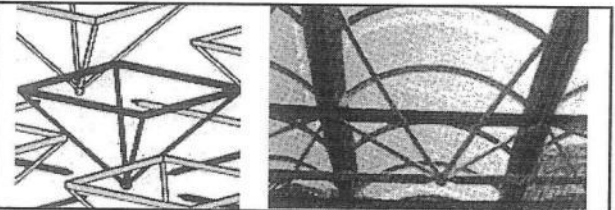


Fig. 20 b. MD-MERO DECK. Módulos piramidales prefabricados

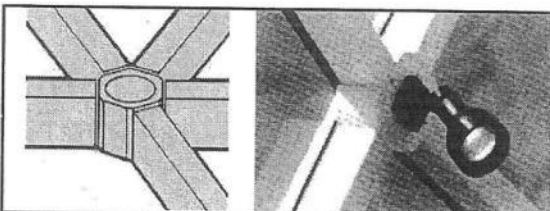


Fig. 20 c. ZK-CYLINDER NODE. Conectores cilíndricos.

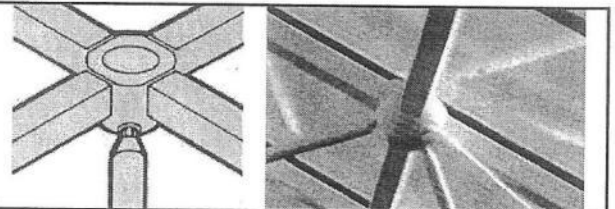


Fig. 20 d. NK-BOWL NODE. Conectores semiesféricos.

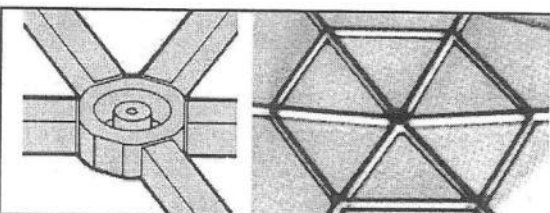


Fig. 20 e. TK-DISC NODE. Conectores circulares.

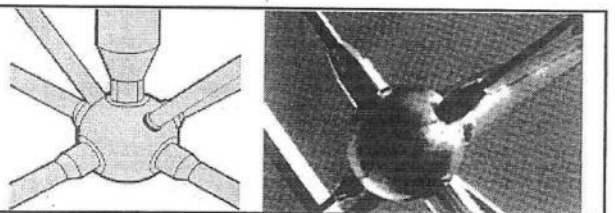


Fig. 20 f. MT-TENSILE STRUCTURE. Estructura tensada.

Las cualidades de las Estéreo estructuras, analizadas en este capítulo, justifican la rápida difusión que han experimentado en los últimos años, pudiendo citarse numerosas obras, por ejemplo, la visera o cubierta en la tribuna del **Estadio de la Universidad islámica de Riyadh, Arabia Saudita**, en forma de Paraboloides hiperbólico, con todos sus nudos constituidos por conectores esféricos. Fig. 21 a y b.

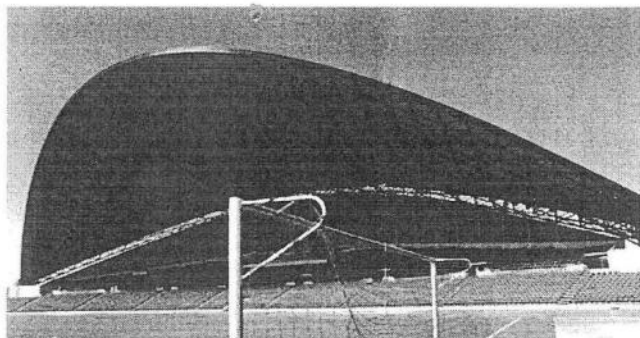


Fig. 21 a. Vista de la cubierta en forma de paraboloides hiperbólico.

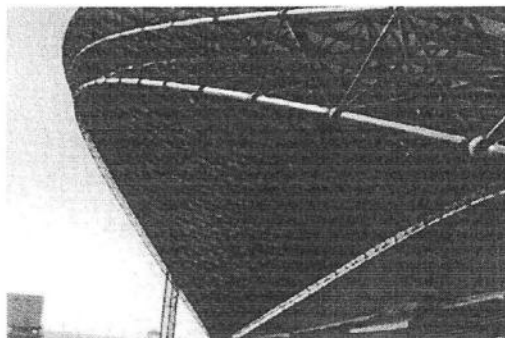


Fig. 21 b. Detalle del reticulado

La cubierta para iluminación natural del atrio en el Shopping Center Lakeside, en New Orleans, conformando un reticulado plegado transparente, de una sola capa. Fig. 22.

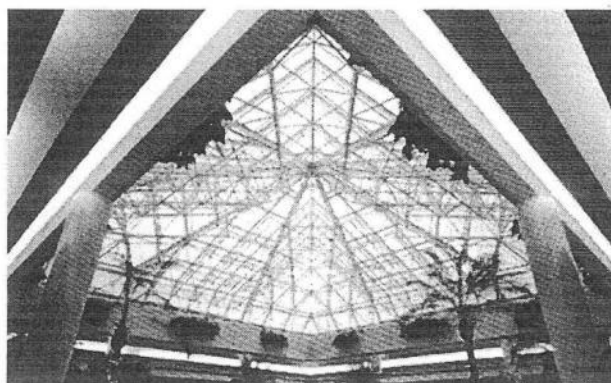
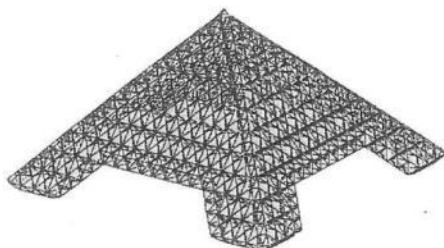


Fig. 22. Vista de la cubierta en forma de paraboloides hiperbólico.

El Invernadero de forma piramidal, en Esson, Alemania, diseñado por el Arq. Richard Bouse. Figs 23 a y b.

Fig. 23 a y b. Vista del invernadero y esquema de la estructura reticular en forma piramidal que lo conforma.



La estructura de soporte del "Muro cortina", en Arlington, conformando el plano resistente vertical de doble capa, completándose con una placa plana en la cubierta. Fig. 24.

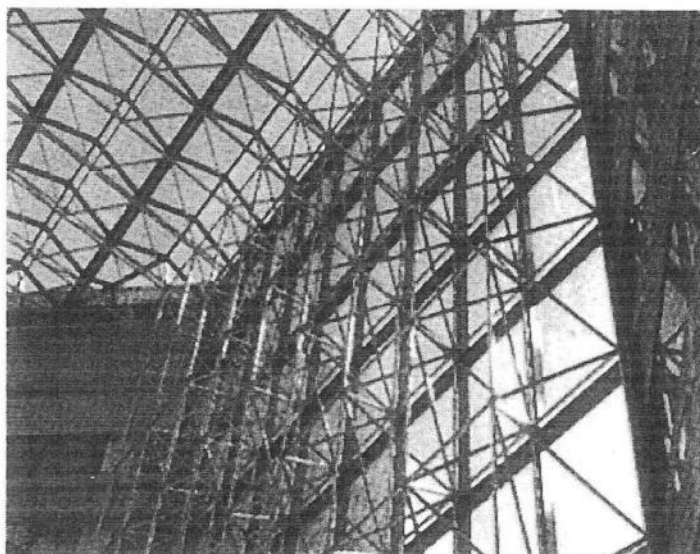


Fig. 24.

El **Centro cultural Pompidou, de Renzo Piano**, constituye un claro ejemplo de articulación entre conocimiento e imaginación creativa, donde se elabora todo un mecanismo resistente, integrado en cada una de sus partes, y quizás, precisamente por ello se erige en protagonista del diseño arquitectónico.

La fachada más larga, de 167,7m de longitud por 42m de altura, presenta un plano resistente vertical constituido por un reticulado plano a partir de cordones horizontales, montantes y diagonales en ambas direcciones, que le confieren rigidez. La carga horizontal generada por la acción del viento, provoca tracción en las diagonales opuestas y compresión en las diagonales que lo enfrentan, con el consiguiente peligro de pandeo, en particular por su gran longitud y extremada esbeltez. Fig. 25 a, b y c.

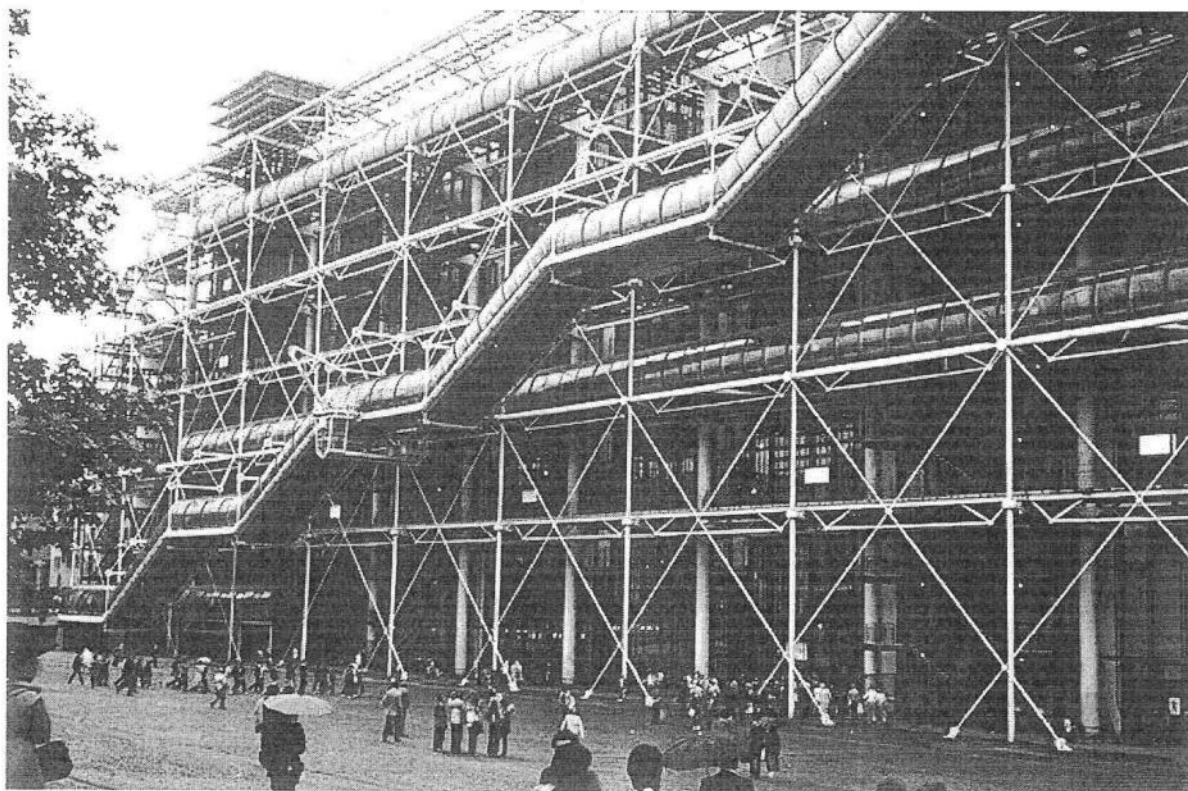


Fig. 25 a. Fachada principal sobre la plaza de accesos dominada por la estructura reticular.

Cuando el viento cambia de sentido, naturalmente, las barras traccionadas pasan a estar comprimidas, es decir, habría que dimensionar todas las diagonales a compresión, y para evitar el efecto de 2º orden señalado, incrementar considerablemente las dimensiones de las barras, con el consiguiente encarecimiento, y en especial, la pérdida de transparencia en la fachada.

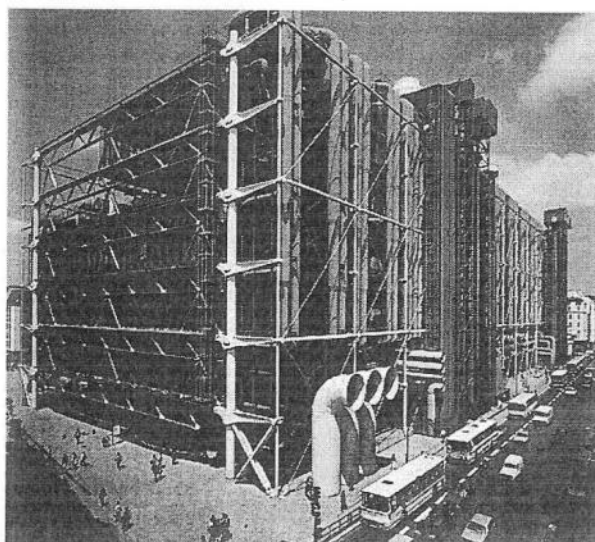


Fig. 25 b. Fachadas lateral y posterior.

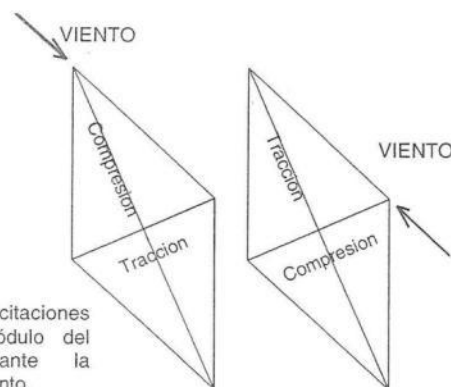


Fig. 25 c. Solicitaciones en cada módulo del reticulado ante la acción del viento.

Se optó en consecuencia por idear un mecanismo que elimine la compresión, obligando a todas las diagonales a trabajar a la tracción.

¿Cómo se articula ese mecanismo resistente?

Ubicando en la dirección transversal un conjunto de vigas reticuladas que cubren una luz de 48m, con una separación de 12.90m entre ellas, en coincidencia con cada uno de los nudos del otro reticulado.

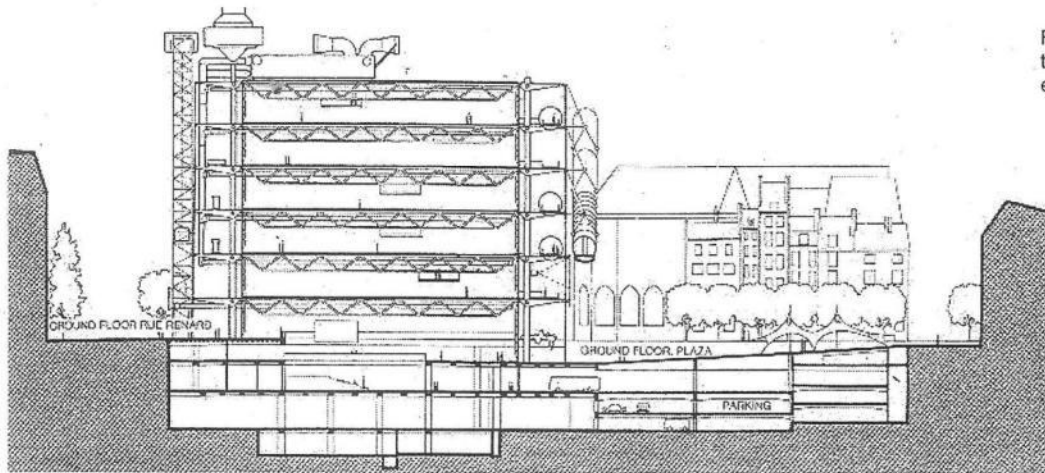


Fig. 26. Corte transversal del edificio.

Pero el aspecto más original es que estas vigas reticuladas no se limitan a soportar los entrepisos, sino que además se las hace trabajar como Vigas Gerber, pues apoyan sobre una articulación interna diseñada ex profeso para que funcione como una ménsula de 1.60m de vuelo con una carga concentrada en el extremo, que le es transmitida por la viga reticulada, provocando lógicamente en el apoyo opuesto una reacción hacia abajo, es decir, tiende a levantarlo, y consecuentemente a levantar y traccionar el nudo correspondiente al reticulado de la fachada más larga, para transmitir esa tracción a las 2 diagonales que concurren a ese nudo.

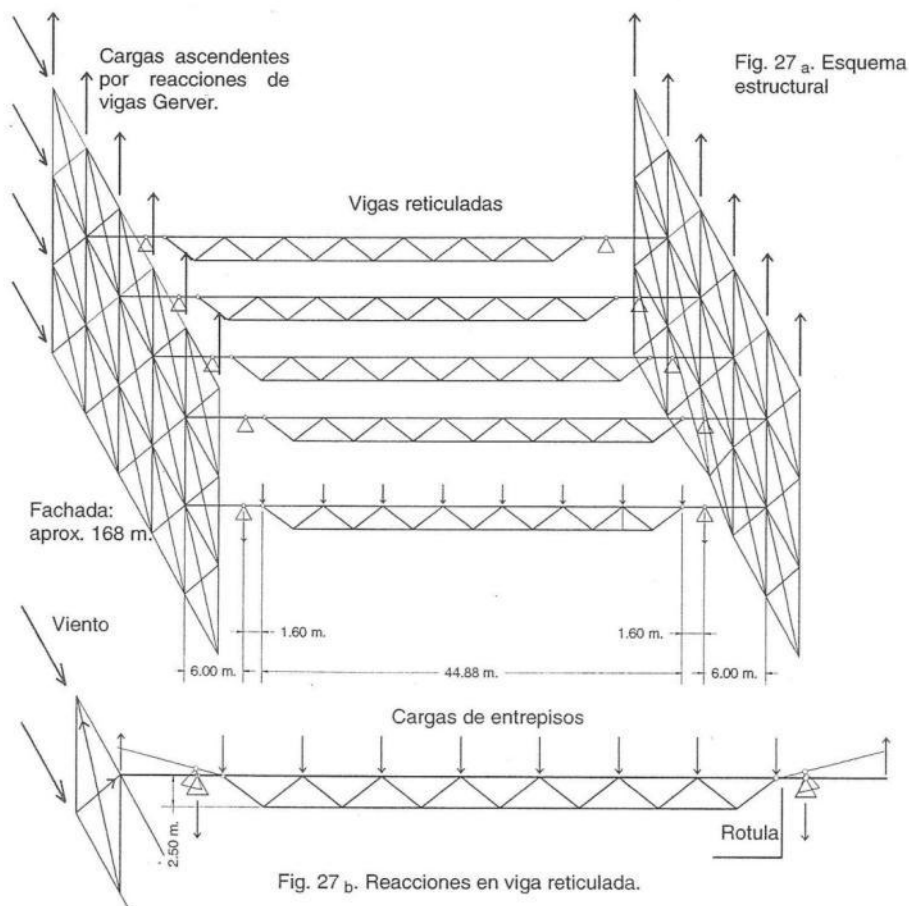


Fig. 27 b. Reacciones en viga reticulada.

Fig. 27 a y b.

La luz de 6m entre apoyos, y el voladizo de 1.60m, fueron calculados precisamente para que el valor de su reacción provoque una tracción en las barras diagonales mencionadas, que supere a la compresión generada por el viento, garantizando de esta forma que todas las diagonales trabajen exclusivamente a tracción, con una considerable reducción en sus dimensiones, peso, economía de costos, y en especial, una mayor transparencia a la fachada.

Vale decir, se ha logrado el pretensado de todas las diagonales mediante una combinación resistente muy original, optimizando su comportamiento frente a la acción del viento.

Como ejemplo de las posibilidades estructurales que brinda esta tipología resulta importante destacar el **Estadio de Australia, construido para los Juegos Olímpicos de Sydney 2000**, con una capacidad para 110.000 espectadores, donde las tribunas se hallan cubiertas por un **RETICULADO ESPACIAL EN FORMA DE PARABOLOIDE HIPERBÓLICO** de 30.000m² de superficie. Fue diseñado por Bligh Lobb Sports Architects. Fig. 28. a, b, c, d y e.

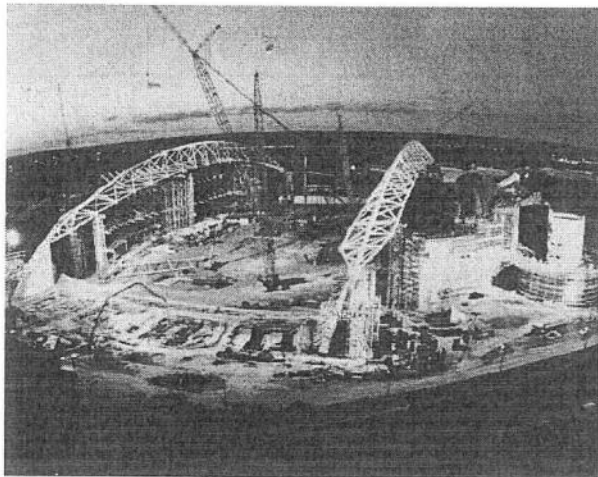


Fig. 28a. Durante la etapa de montaje de la estructura reticulada.

Las placas de policarbonato poseen 4 niveles de opacidad para filtrar la luz solar, minimizando también el reflejo y las sombras en el campo de juego, y asegurando ideales condiciones para las filmaciones de TV durante el día. Las mismas realzan la atmósfera y optimizan las condiciones acústicas, mientras que al mismo tiempo proveen efectiva protección contra la lluvia y el sol a los espectadores.

- Posee ventilación pasiva, los rayos de sol y el aire templado natural han sido integrados en el estadio para implementar condiciones de confort minimizando el uso de la energía que consumen los equipos de aire acondicionado.
- La necesidad de iluminación artificial ha sido reducida ya que el diseño del estadio permite máxima entrada de luz natural.
- Toda el agua de lluvia es recolectada por la cubierta y almacenada en 4 tanques para el riego del campo de juego.

La Estéreo estructura se apoya sobre 2 grandes arcos reticulados de 295m de luz y 14m de altura, que van disminuyendo paulatinamente hasta anclarse sobre 2 gigantescos bloques triangulares de Hormigón.

Toda esta estructura se halla cubierta por placas traslúcidas de Policarbonato, separadas por unas canaletas para el drenaje pluvial de acero inoxidable. Realizada con materiales flexibles que permiten absorber la expansión del Policarbonato provocada por la radiación solar.



Fig. 28b. Vista aérea del estadio.

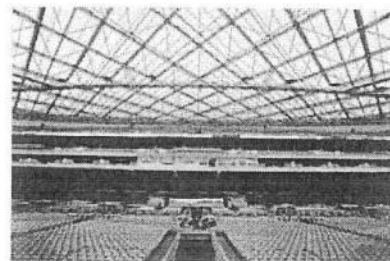


Fig. 28c. Interior de la cubierta.

El uso de las estructuras reticuladas para cubrir grandes estadios ha experimentado una gran difusión, por su liviandad, transparencia, rapidez de montaje, utilización de piezas normalizadas, facilidad de adaptación en estadios existentes.

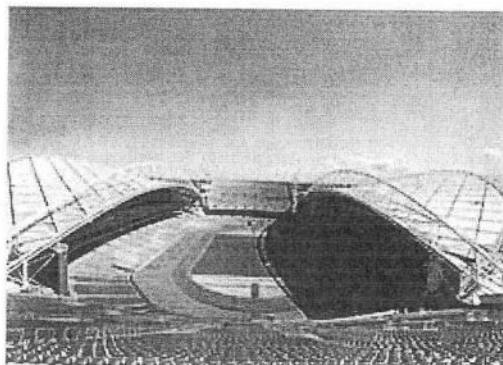
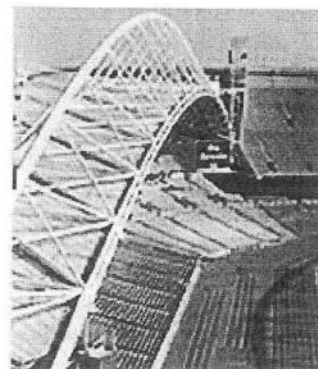


Fig. 28d y e.



Un ejemplo de ello es el caso de la cubierta reticulada agregada después de muchos años en la tribuna alta del estadio de Racing, en Avellaneda. Esto le ha permitido reemplazar con ventaja a las cubiertas laminares.

Las estructuras reticuladas, combinadas con los sistemas "Tensigrity" constituyen, en gran medida, el punto de partida de la arquitectura High Tech (de alta complejidad).

Podemos nombrar así al **Aeropuerto de Stansted, en la localidad de Essex, Londres**, diseñado por Arq. Norman Foster & Partners, el cual muestra un diseño mas evolucionado en materia de estereo estructuras. Fig. 29.

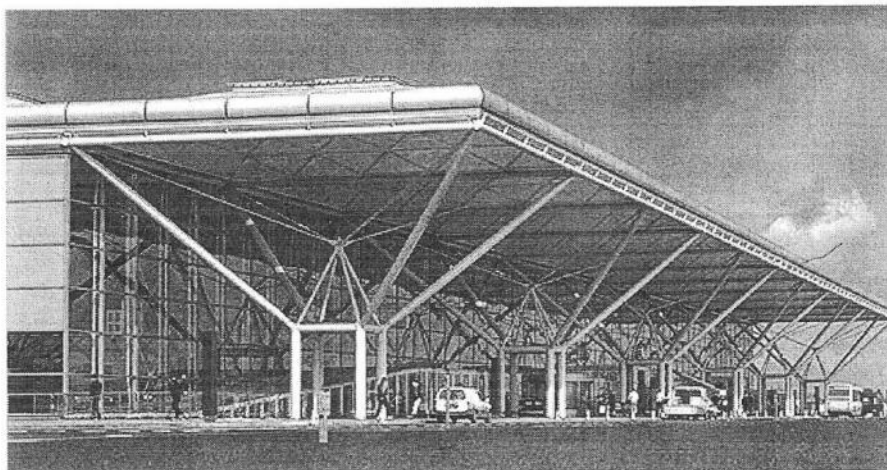


Fig. 29. Calle de acceso al Aeropuerto, a través de una imponente marquesina.

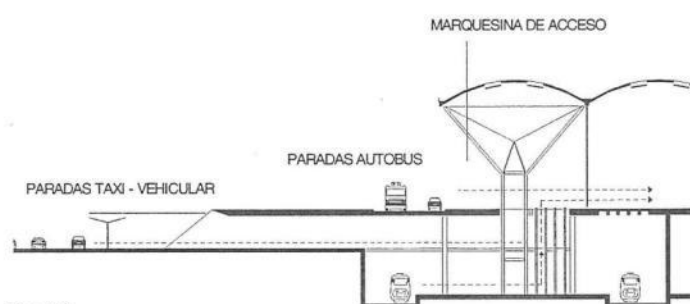


Fig. 30.

El área cubierta de todo el proyecto es de 85. 700 m², incluyendo la terminal central de 2 pisos y dos estaciones satélite unidas por un tren automatizado.

Los pasajeros a través de ascensores, rampas y escaleras, llegan desde la estación de trenes, autobuses y estacionamientos directamente al único nivel destinado al movimiento de pasajeros. Fig. 30.

El diseño estuvo guiado por la búsqueda de un gran espacio cuya estructura tuviera la función de sostener una cubierta que permita entrada de luz natural y un sistema energéticamente eficaz, además de su economía y rapidez de construcción, y la posibilidad de futuras ampliaciones.

La cubierta consta de 121 cúpulas de planta cuadrada de 18 m. de lado cada una sostenida por soportes centrales, a los cuales Foster denomina "árboles". Fig. 31 a.

La estructura de sostén ("árboles") es el elemento que da forma al espacio, y por su diseño permite obtener un ambiente más diáfano y sin obstrucciones.

Cada uno de estos soportes compuestos se halla conformado por columnas tubulares cuádruples que se abren a los 20 m. de desarrollo, permitiendo que la modulación en planta se duplique y logrando una mayor diafanidad del espacio interior. Fig. 31 b.

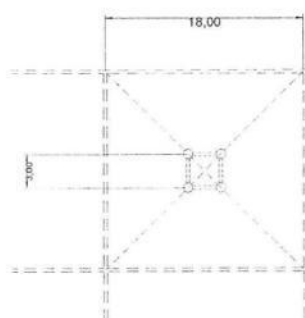
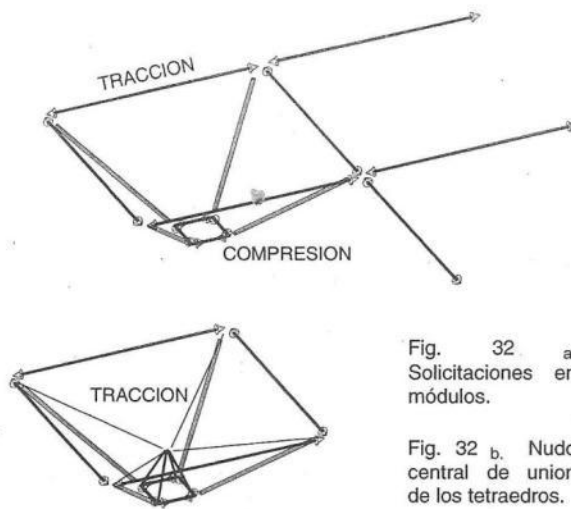


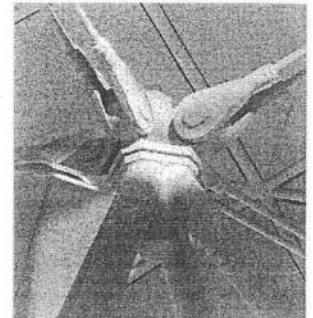
Fig. 31 b.

Fig. 31 a. El espacio interior se halla modelado por la estructura de sostén y la cubierta.



Cada módulo se halla atado en cabeza y base ante la necesidad de equilibrar las componentes horizontales de compresión, y arriostrado a través de cables traccionados formando 2 tetraedros invertidos que permiten la estabilización de la forma. Fig. 32 a y b.

Dichos módulos se hallan unificados a través de una malla continua de cuadrados que da apoyo a las 121 cúpulas que conforman para el Aeropuerto una única cubierta que alberga todas las funciones.



Cada cúpula está conformada por una malla triangular de acero de una sola capa, y cubierta por una claraboya de PVC que de día difunde la luz natural y de noche refleja la luz artificial para una iluminación indirecta. Figs. 33 a y b.

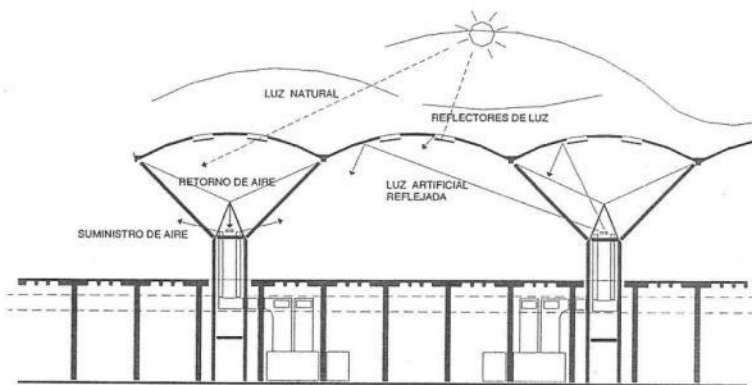
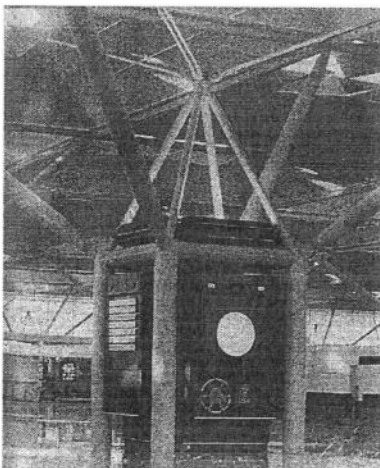


Fig. 33 a. Esquema de corte de la cubierta e instalaciones en cada soporte abastecido desde el subsuelo.

En la cubierta se concentra todo lo relacionado con la captación de luz y el escurrimiento de agua, eliminándose todo tipo de instalación o equipo técnico que pudiera impedir dichas funciones.



A través de cada módulo estructural llegan desde el subsuelo a la planta principal todos los servicios que esta requiere para su funcionamiento. Fig. 34.

Todos los sistemas para la distribución de aire acondicionado, calefacción, ventilación, iluminación del hall de viajeros, servicios de información y comunicaciones e instalaciones contra incendio, están contenidos dentro de los grupos de columnas de cada "árbol".

Fig. 34. Cada uno de los soportes agrupa elementos técnicos con la intención de dejar libre de instalaciones la cubierta.

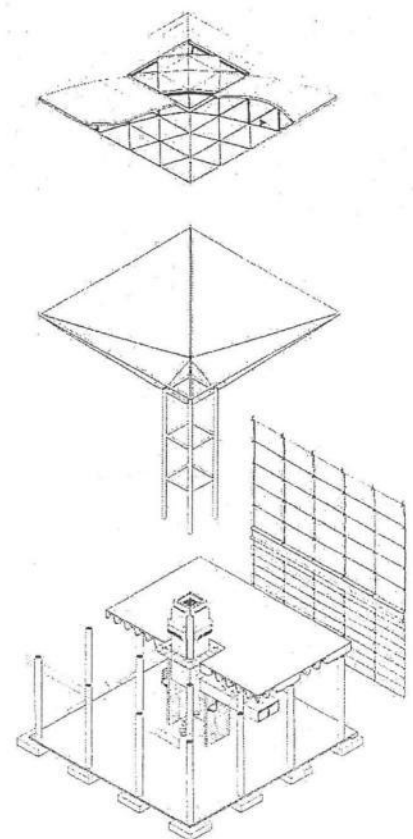


Fig. 33 b. Elementos estructurales, constructivos e instalaciones comprendido en cada uno de los módulos componentes (18x18m.) de la estructura.